



UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA

**Associações entre a Potência Muscular dos Membros
Inferiores e a Saúde Óssea Avaliada através de
Ultrassonografia Quantitativa**

Dissertação elaborada com vista à obtenção do grau de Mestre na
especialidade de Exercício e Saúde

Orientador: Professora Doutora Maria de Fátima Marcelina Baptista

Júri:

Presidente: Professora Doutora Maria Isabel Caldas Januário Fragoso

Vogais: Professora Doutora Maria de Fátima Marcelina Baptista

Professor Doutor Pedro Victor Mil-Homens Ferreira Santos

Pedro Filipe Ramos Serra

2016

AGRADECIMENTOS

Um trabalho desta natureza só é possível graças ao auxílio e colaboração de uma série de pessoas essenciais para a elaboração do mesmo, às quais quero deixar uma palavra de sincero agradecimento:

Em primeiro lugar, um especial agradecimento à Professora Doutora Fátima Baptista, pela disponibilidade sempre manifestada e pelas indicações que me deu e que me permitiram tomar o rumo certo durante a realização desta tese. A sua ajuda na análise estatística foi preciosa.

Um agradecimento também aos Professores Doutores Pedro Mil-Homens e Maria João Valamatos, pela ajuda dispensada relativamente à plataforma de força e ao salto vertical.

À Lurdes Rebocho, pela formação dada relativamente ao ultrassom, que permitiu que fosse possível avaliar cerca de 80 crianças.

À Professora Elisabete, coordenadora da EB1 da Brandoa, por ter sempre facilitado o acesso à Escola e às respetivas instalações.

Às Professoras do 3.º ano da EB1 da Brandoa, Ana, Carla, Paula e Sandra, pela disponibilidade e facilidade com que “libertaram” os seus alunos para serem avaliados. Algumas avaliações foram realizadas em momentos mais críticos do ano e tal nunca serviu como entrave.

Aos alunos e respetivos encarregados de educação, por terem aceitado e permitido a participação no estudo. Sem eles, o mesmo não seria possível.

Por último, à minha família, por me ter sempre incentivado à realização do Mestrado.

RESUMO

Objetivo: Analisar as associações entre a potência muscular dos membros inferiores e a saúde óssea avaliada através de ultrassonografia quantitativa.

Métodos: A amostra incluiu 63 crianças de 9 anos de idade. A velocidade de som (VS) do rádio e da tíbia foi avaliada através de ultrassonografia quantitativa, a potência de salto foi estimada a partir de um salto vertical com contramovimento e a maturidade somática foi determinada a partir da estimação do pico de velocidade em altura. O estado geral de saúde e o historial de fraturas foram avaliados através de questionário. As associações entre medidas dos parâmetros ósseos e a potência de salto foram analisadas através de correlações bivariadas, com as variáveis expressas em valores absolutos e relativos (standardizados).

Resultados: Foram observadas associações positivas entre a maturidade somática e a potência de salto expressa tanto em valores absolutos como relativos ($p < 0,05$). A maturidade somática correlacionou-se ainda positivamente com a VS da tíbia nas raparigas ($r=0,358$, $p=0,045$), enquanto nos rapazes se verificou uma associação negativa, embora não significativa ($r=-0,290$, $p=0,126$). Observou-se uma associação ou propensão para associação negativa entre a VS da tíbia e a potência de salto nos rapazes ($r=-0,490$, $p=0,007$) e nas raparigas ($r=-0,344$, $p=0,054$).

Conclusão: A potência de salto não parece constituir um bom marcador da saúde óssea de rapazes e raparigas de 9 anos de idade quando avaliada através de ultrassom.

Palavras-chave: Fragilidade óssea; Fratura; Unidade funcional músculo-osso; Ultrassonografia quantitativa; Salto vertical; Potência muscular.

ABSTRACT

Objective: To analyze the association between the muscle power of the lower limbs and bone health assessed by quantitative ultrasound.

Methods: The sample includes 63 children with 9 years old. The speed of sound (VS) of the radius and tibia was assessed by quantitative ultrasound, jump power was estimated from a vertical jump with countermovement and somatic maturity was determined from the estimation of the peak velocity in height. The general health and history of fractures were assessed by questionnaire. Associations between measurements of bone parameters and the jump power were analyzed using bivariate correlations, with the variables expressed in absolute and relative values (standardized).

Results: Positive associations were observed between somatic maturity and jump power expressed in absolute and relative values ($p < 0.05$). The somatic maturity also correlated positively with the SV of the tibia in girls ($r = 0.358$, $p = 0.045$) while in males there was a negative association although not significant ($r = -0.290$, $p = 0.126$). There was an association or propensity for negative association between VS tibia and jump power in boys ($r = -0.490$, $p = 0.007$) and in girls ($r = -0.344$, $p = 0.054$).

Conclusion: The power of the vertical jump does not seem to be a good marker of bone health in boys and girls with 9 years old when this is assessed by ultrasound.

Keywords: Bone fragility; Fracture; Muscle-bone functional unit; Quantitative ultrasound; Vertical jump; Muscle power.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	VII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VII
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1. Fragilidade, Fratura Óssea e Ultrassonografia Quantitativa	14
2.2. Unidade Funcional Músculo-osso	22
2.3. Aptidão Física, Potência Muscular e Saúde Óssea	24
3. METODOLOGIA.....	34
3.1. Amostra.....	34
3.2. Velocidade de Som Radial e Tibial	34
3.3. Potência Muscular.....	35
3.4. Antropometria	35
3.5. Maturidade	36
3.6. Saúde e Historial de Fraturas Ósseas	36
3.7. Análise Estatística.....	37
4. RESULTADOS	38
5. DISCUSSÃO	41
6. CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de dispersão que ilustra a relação entre a velocidade de som no rádio e na tíbia e a potência do salto vertical.....	40
---	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Equações estimativas da potência do salto	35
Tabela 2. Equações preditivas da maturidade biológica	36
Tabela 3. Caracterização da amostra: idade, maturidade, estatura, parâmetros ósseos e capacidade muscular.....	38
Tabela 4. Associações entre medidas dos parâmetros ósseos e capacidade muscular.	39
Tabela 5. Associações entre medidas dos parâmetros ósseos e capacidade muscular.	39

LISTA DE ABREVIATURAS

CMO – Conteúdo mineral ósseo

DMO – Densidade mineral óssea

DXA – Absorciometria de raio x de dupla energia

IMC – Índice de massa corporal

1. INTRODUÇÃO

A osteoporose é uma doença esquelética caracterizada por uma reduzida força óssea e deterioração da microarquitetura do tecido ósseo, com um aumento consequente do risco de fratura (NIH, 2000). Esta doença ocorre em todas as populações e em todas as idades e constitui um importante fator de risco para a fratura óssea (NIH, 2000). A osteoporose e as fraturas associadas são uma das principais causas de mortalidade e morbidade (WHO, 1998) e têm consequências económicas, físicas e psicossociais (NIH, 2000). São múltiplos os fatores de risco identificados para a osteoporose. A massa óssea é o principal determinante mensurável do risco de fraturas osteoporóticas, e a magnitude do pico de massa óssea e o ritmo e duração da perda óssea associada à pós-menopausa e ao envelhecimento determinam a probabilidade de desenvolvimento da osteoporose (NIH, 2000). No entanto, um historial de fraturas prévias é um preditor da incidência de fratura, independentemente da massa óssea, e a fratura por fragilidade um importante fator de risco para uma fratura posterior (Kanis, 2002; Kanis et al., 2004).

As fraturas são muito comuns na idade pediátrica, representando atualmente um problema de saúde pública (Valerio et al., 2010). A sua incidência tem vindo a aumentar e cerca de um terço das crianças e jovens de ambos os sexos sofre pelo menos uma fratura antes dos 17 anos de idade, apresentando os rapazes taxas maiores, comparativamente com as raparigas (Cooper et al., 2004; Hedstrom et al., 2010; Valerio et al., 2010). Apesar de os valores encontrados na literatura serem por vezes contraditórios, uma percentagem das fraturas ocorre em contexto escolar (Valerio et al., 2010; Joeris et al., 2014), sendo possível que um terço ou mais esteja relacionado com a escola (Clements & Randsborg, 2014). O membro superior, nomeadamente o

antebraço, punho e mão, é o local anatómico com maior prevalência de fraturas, decorrentes, principalmente, de traumas de baixa energia, como as quedas (Cooper et al., 2004; Hedstrom et al., 2010; Valerio et al., 2010; Joeris et al., 2014). Os jovens com fraturas no antebraço apresentam geralmente valores inferiores de conteúdo e densidade mineral óssea (CMO; DMO), um maior peso corporal e adiposidade e um menor consumo de cálcio (Goulding et al., 2005).

Nas crianças, uma fratura precoce está associada a taxas mais elevadas de fraturas futuras; um histórico de fraturas prévias, em qualquer local anatómico, é um fator de risco importante para fraturas posteriores (Klotzbuecher et al., 2000; Yeh et al., 2006). Para além de afetarem a saúde e o desenvolvimento das crianças, uma vez que poderão resultar em incapacidade a longo prazo ou perda de capacidade funcional, e estarem associadas a ausências da escola e restrição de atividades, as fraturas na população adulta são dispendiosas, tanto em termos de custos médicos diretos, pois são o tipo de lesão com o mais elevado custo, como de produtividade no local de trabalho (Kopjar & Wickizer, 1998; Clark et al., 2006; Bonafede et al., 2013; Polinder et al., 2013).

O facto de os tipos mais comuns de mecanismos das fraturas em idade pediátrica serem os traumas de baixa energia, como as quedas ao nível do solo, leva-nos a considerar que as fraturas são prováveis, pois as quedas são comuns durante estas idades. Todavia, na verdade, a fragilidade óssea está subjacente às fraturas, existindo mesmo uma associação entre estas e uma DMO baixa (Clark et al., 2006).

Existe uma relação funcional entre o músculo e o osso (Schönau & Fricke, 2006), de tal forma que a massa e a força ósseas estão dependentes da função muscular e esta, por sua vez, fortemente associada com as doenças ósseas (Schönau & Fricke, 2008). Esta relação tem vindo a ser estudada nas crianças com base na análise da função

muscular, através de parâmetros como a força e a potência musculares (Schönaeu & Fricke, 2008), e o salto vertical tem vindo a ser utilizado como um método objetivo para a avaliação estandardizada da função muscular nesta população, o qual pode ser facilmente aplicado para avaliar a aptidão física (Fricke et al., 2006).

Nos últimos anos têm aumentado os estudos que relacionam a aptidão física e a saúde nas crianças e nos adolescentes. A avaliação da aptidão física, ao permitir mensurar de uma forma integrada a maioria das funções do corpo humano relacionadas com a atividade física, possibilita aferir o estado funcional destes sistemas, prognosticar o estado de saúde e, em função disso, elaborar um programa de intervenção (Ortega et al., 2008; IOM, 2012). Como tal, os benefícios da aplicação de testes de aptidão física nas escolas vão além da simples melhoria da aptidão física (IOM, 2012), sendo por este motivo que a avaliação da aptidão física é realizada na escola, englobada na disciplina de Educação Física.

Atualmente, apesar de limitada, há evidência da relação entre a aptidão física musculoesquelética e a saúde nos jovens, sendo que um conjunto de autores tem vindo a demonstrar uma associação entre a aptidão musculoesquelética e a saúde óssea (IOM, 2012), mais especificamente, entre os resultados dos testes de impulsão e o CMO, a DMO e a aquisição de massa óssea (Vicente-Rodriguez et al., 2003; Vicente-Rodriguez et al., 2004; Binkley & Specker, 2008; Vicente-Rodríguez et al., 2008); Weeks & Beck, 2010; Moraes et al., 2013; Zribi et al., 2014; Janz et al., 2015; Baptista et al., 2016). Desta forma, os testes de impulsão poderão ser úteis na deteção de crianças e jovens com massa óssea potencialmente reduzida, e a potência muscular um componente a ter em conta em programas de saúde óssea (Vicente-Rodríguez et al., 2008; Janz et al., 2015).

Durante a fase de maturação, o estilo de vida, nomeadamente a atividade física e a nutrição, a aptidão física e a percentagem de massa gorda, tem um impacto significativo e um papel determinante no que respeita à saúde óssea (Torres-Costoso et al., 2015). Desta forma, a análise da epidemiologia das fraturas durante a idade pediátrica permite identificar comportamentos de risco nos jovens, desenvolver e implementar estratégias preventivas ao nível da saúde pública, que visem a promoção de estilos de vida mais saudáveis, e reverter o aumento da incidência deste problema (Clark et al., 2006; Faulkner & Bailey, 2007; Valerio et al., 2010).

A escola tem um papel determinante na identificação de jovens com baixos níveis de aptidão física e na promoção de comportamentos saudáveis, como a atividade física (Ortega et al., 2008). Nos países desenvolvidos, todas as crianças, independentemente do seu nível socioeconómico ou social, frequentam a escola, o que a torna o local ideal para a implementação de medidas preventivas (Clements & Randsborg, 2014). Em contexto escolar, são utilizadas várias baterias de aptidão física relacionada com a saúde, que permitem avaliar a aptidão física de crianças e jovens em todas as suas dimensões (Ruiz et al., 2006). Duas das mais utilizadas são o EUROFIT e o FITNESSGRAM, a última das quais é aplicada em Portugal. Apesar de o teste de impulsão horizontal estar incluído no EUROFIT, a sua aplicação está mais relacionada com a participação desportiva e o rendimento, do que propriamente com a saúde (Morrow et al., 2016), sendo que os testes de impulsão vertical não fazem parte destas baterias nem existem valores de referência, associados com a saúde óssea, que permitam detetar crianças e adolescentes com risco aumentado de fratura óssea. Assim, o presente estudo teve como objetivos: analisar as associações entre a potência muscular dos membros inferiores e a saúde óssea avaliada através de ultrassonografia quantitativa e analisar a sensibilidade da potência do salto vertical para identificar crianças com

fragilidade óssea, em caso de associações elevadas entre a potência muscular dos membros inferiores e a saúde óssea.

Tendo em conta a relação funcional entre o músculo e o osso, avançamos com a hipótese de que as crianças com valores mais elevados de potência muscular apresentam valores mais elevados de velocidade de som tibial e radial.

1.1. Limitações do Estudo

O presente estudo apresenta algumas limitações, particularmente ao nível da dimensão e da representatividade da amostra. Por outro lado, não foi considerado o consumo diário de cálcio nem foi registada a atividade física habitual, fatores que contribuem de forma significativa para a saúde óssea (Macdonald et al., 2009). O salto vertical sem contramovimento parece ser igualmente válido para estimar a força explosiva dos membros inferiores (Markovic et al., 2004), mas a sua avaliação não foi considerada. Por estar dependente da aprendizagem, a componente técnica do salto vertical deveria ter sido treinada previamente ao dia em que se procedeu à avaliação. Por último, por ser um estudo transversal, é possível especular sobre possíveis relações, mas não demonstrar uma relação de causa e efeito.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Fragilidade, Fratura Óssea e Ultrassonografia Quantitativa

O tecido ósseo representa uma forma altamente especializada de tecido conjuntivo, sendo composto por células ósseas separadas por uma matriz, na qual é possível distinguir duas componentes, uma parte inorgânica, ou mineral, e uma parte orgânica (Espanha et al., 1999).

São três os tipos de células do tecido ósseo: osteoblastos; osteócitos; osteoclastos, apresentando cada um diferentes funções e origens. Os osteoblastos têm origem em células indiferenciadas e não especializadas e são células formadoras de tecido ósseo e responsáveis pela produção dos constituintes da matriz. A partir do momento em que estas células são envolvidas pela matriz óssea, tornam-se osteócitos, que são células maduras e definitivas que regulam o fluxo de minerais e nutrientes entre a matriz e o sangue. Os osteoclastos, por fim, são grandes células com vários núcleos, que têm como função a reabsorção óssea. Após um período de reabsorção óssea, os osteoclastos são convertidos em osteoblastos (Espanha et al., 1999; Seeley et al., 2003; Malina et al., 2004).

A componente mineral representa cerca de 70% do tecido ósseo e é formada essencialmente por cristais de fosfato de cálcio, sob a forma de hidroxiapatite, ao passo que a parte orgânica é composta por 22% de proteína (fibras de colagénio tipo 1, principalmente, proteínas não colagénicas, proteoglicanos, glicoproteínas e fosfolípidos) e 8% de água (Stewart, 2005; Augat & Schorlemmer, 2006). O constituinte mineral permite ao osso resistir às forças de compressão de forma muito eficaz, contudo, dá-lhe uma capacidade muito limitada para suportar cargas de tração, ao passo que o colagénio

proporciona a resistência à tração (Augat & Schorlemmer, 2006). A quantidade relativa de cada um determina as propriedades materiais do osso (Faulkner & Bailey, 2007).

O tamanho do osso, a sua geometria e área transversal, a disposição do material no espaço e as suas propriedades microestruturais, como a orientação trabecular, a porosidade e espessura corticais, são características que formam as propriedades estruturais do osso (Augat & Schorlemmer, 2006; Viguet-Carrin et al., 2006).

A combinação das propriedades materiais e estruturais confere ao osso rigidez, ductilidade e capacidade de absorver energia (Augat & Schorlemmer, 2006; Viguet-Carrin et al., 2006; Chavassieux et al., 2007), tornando-o um elemento estrutural sólido e adaptável no corpo humano (Stewart, 2005). Estas propriedades garantem a competência mecânica do osso (Augat & Schorlemmer, 2006) e contribuem para a força óssea (Chavassieux et al., 2007; Faulkner & Bailey, 2007), permitindo que este resista à deformação e seja capaz de absorver energia através da deformação (Seeman & Delmas, 2006; Chavassieux et al., 2007; Leali et al., 2009). A falência destas propriedades tem como consequência a fratura óssea, pois leva a que o osso se deforme para além dos seus limites fisiológicos e que a energia imposta a este seja libertada por falha estrutural, inicialmente pelo desenvolvimento de microfissuras e, posteriormente, pela fratura completa (Seeman & Delmas, 2006; Chavassieux et al., 2007; Leali et al., 2009).

A força óssea representa a capacidade do osso para resistir a forças que podem causar fratura (Plowman & Smith, 2013) e é determinada por vários fatores, como a massa, a geometria e a microarquitetura ósseas, e pela qualidade do tecido ósseo (Ammann & Rizzoli, 2010). Devido à dificuldade em quantificar a geometria e a microarquitetura ósseas, é utilizada a massa óssea expressa habitualmente através da DMO como forma de avaliar a força óssea (Plowman & Smith, 2013).

A massa óssea é a quantidade de tecido ósseo num local específico do esqueleto. É quantificada pelo CMO, que corresponde à quantidade, em gramas, da componente mineral do osso (Cummings et al., 2002). O rácio entre o valor do CMO e a área ou volume da zona do osso avaliada corresponde à DMO (Cummings et al., 2002; Plowman & Smith, 2013), que pode ser expressa em gramas por centímetro quadrado (DMO areal) ou em gramas por centímetro cúbico (DMO volumétrica) (Schönau & Fricke, 2011). A DMO areal está relacionada com a área do osso e, por norma, é medida através da DXA, enquanto a DMO volumétrica respeita ao volume do osso e é normalmente medida por intermédio da tomografia computadorizada quantitativa (Cummings et al., 2002). A DMO, ou densidade óssea, contribui em cerca de 70% para a força óssea e é o parâmetro normalmente utilizado para medir a força óssea e para reportar os resultados de todos os tipos de densitometria óssea (NIH, 2000; Cummings et al., 2002). A densidade óssea está de tal forma relacionada com a força óssea que indivíduos com DMO baixa apresentam um risco aumentado de fratura por fragilidade (Lampignano & Bontrager, 2014).

O tecido ósseo é formado pelos osteoblastos através de um processo denominado ossificação, ou osteogénese, o qual tem início nas primeiras semanas após a conceção e se prolonga pela vida adulta (Espanha et al., 1999; Seeley et al., 2003). Ao longo da vida, o osso passa por processos de crescimento, modelação, remodelação e reparação (Espanha et al., 1999; Clarke, 2008).

O crescimento ocorre durante a infância e a adolescência e manifesta-se por um incremento da massa óssea, que se traduz num aumento do comprimento (crescimento endocondral) ou do diâmetro (crescimento aposicional) do osso. O crescimento do osso em comprimento, que é responsável pelo aumento da estatura de um indivíduo, resulta da ossificação endocondral da cartilagem e termina no final da adolescência ou início da

idade adulta, perto dos 18 anos de idade nas mulheres e dos 21 nos homens. O crescimento do diâmetro do osso é consequência da deposição óssea na superfície externa do mesmo pelos osteoblastos (Espanha et al., 1999; Seeley et al., 2003) e, ao contrário do crescimento em comprimento, pode ocorrer ao longo da vida, como resposta à carga mecânica associada a forças musculares ou gravitacionais (National Cancer Institute, s.d.).

A modelação é o processo através do qual os ossos alteram a sua forma geral, em resposta a influências fisiológicas ou cargas mecânicas. Esta alteração pode traduzir-se numa modificação ou alargamento do eixo do osso, devido à remoção ou adição de osso na superfície óssea pela ação independente dos osteoblastos e osteoclastos (Clarke, 2008). Tal como o crescimento endocondral, termina no final da adolescência ou início da idade adulta (Espanha et al., 1999).

A remodelação óssea corresponde à remoção do tecido ósseo antigo pelos osteoclastos e à deposição de novo tecido pelos osteoblastos e é o processo através do qual se efetua a renovação do osso (Espanha et al., 1999; Seeley et al., 2003). Este processo permite manter a força óssea e a homeostasia mineral (Clarke, 2008).

A reparação ocorre quando um osso é fraturado, e está dependente da atividade dos osteoblastos, os quais formam novo tecido ósseo que é lentamente remodelado até formar osso compacto e esponjoso, momento em que é terminado o processo (Seeley et al., 2003). Juntamente com a remodelação, a reparação processa-se ao longo da vida (Espanha et al., 1999).

A ossificação resulta da interação complexa entre fatores genéticos e fatores ambientais controláveis relacionados com o estilo de vida, como a dieta, a atividade física, o peso corporal, o tabaco, as bebidas alcoólicas e a medicação (Gkias et al., 2015; USDHHS, 2004). A dieta e a atividade física são responsáveis por entre 10 a 50%

da massa e estrutura ósseas e podem fazer a diferença entre um esqueleto frágil ou resistente à fratura (USDHHS, 2004).

Uma mudança nos componentes materiais e estruturais do osso, a incapacidade deste para se modelar ou remodelar, de forma a adaptar as propriedades materiais e estruturais às cargas a que está sujeito, e/ou a redução da massa e DMO resultam em fragilidade óssea (Chavassieux et al., 2007; Leali et al., 2009). A fragilidade óssea é, de um modo geral, a suscetibilidade à fratura (Turner, 2002). Uma fratura ocorre quando a força exercida sobre o osso supera a sua capacidade fisiológica de deformação (Stewart, 2005; Bishop et al., 2007). Uma DMO diminuída representa um fator de risco e é o preditor mais importante da fratura por fragilidade, havendo uma correlação inversa entre a massa óssea e o risco de fratura (Miller et al., 2001). A DMO é utilizada como uma medida direta do risco de fratura de um indivíduo (Augat & Schorlemmer, 2006), sendo que uma DMO reduzida prediz a fratura, do mesmo modo que o colesterol e a pressão sanguínea elevados predizem o enfarte do miocárdio e a trombose (WHO, 1994). De acordo com Cummings et al. (2002), a relação entre a DMO e o risco de fratura é quantificada através do rácio entre o risco relativo e o desvio padrão, onde um aumento no risco de fratura está associado à diminuição em 1-desvio-padrão na medição da DMO.

Por intermédio de métodos específicos de diagnóstico, a densitometria óssea, é possível quantificar a DMO (Schönau & Fricke, 2011). Os resultados densitométricos são reportados como T-scores ou Z-scores, que representam respetivamente a diferença, em números de desvios-padrão, entre o valor de DMO de um indivíduo e o valor médio de DMO de uma população de adultos jovens do mesmo género (T-score) ou entre o valor de DMO de um indivíduo e o valor médio de DMO de uma população de indivíduos do mesmo género e idade (Z-score) (Cummings et al., 2002). Estes valores

podem variar consoante a técnica densitométrica e o local anatómico de avaliação (Cummings et al., 2002). No caso das crianças, a DMO deverá ser reportada em Z-scores e um Z-score de -2.0 ou menos é definido como estando abaixo do intervalo esperado para a idade e um Z-score maior do que -2.0 é considerado dentro do intervalo esperado para a idade (Lampignano & Bontrager, 2014).

São várias as técnicas de densitometria óssea disponíveis para a determinação não invasiva da DMO do esqueleto pediátrico (WHO, 1994; Bachrach et al., 2011) e dentre estas, a absorciometria de raio x de dupla energia (DXA) é a mais utilizada em estudos epidemiológicos e clínicos que requerem a monitorização da DMO, incluindo populações pediátricas (Lenchik et al., 2002; Klein et al., 2005). Esta técnica, todavia, emite radiação, é dispendiosa e não está prontamente acessível, razão pela qual a ultrassonografia quantitativa parece constituir uma técnica promissora e uma alternativa à DXA (Marín et al., 2006).

A ultrassonografia quantitativa, ou ultrassom, foi desenvolvida no início dos anos 80 do século passado e é uma técnica de densitometria óssea periférica, recente, não invasiva e uma alternativa de baixo custo à DXA (McDevitt & Ahmed, 2007; Baroncelli, 2008). A inexistência de radiação ionizante, a facilidade de utilização, a rapidez da medição e a portabilidade do equipamento fazem desta uma boa técnica para o estudo da massa óssea em jovens (Baroncelli, 2008).

O ultrassom avalia a qualidade óssea no esqueleto periférico (McDevitt & Ahmed, 2007) e é geralmente aplicado no calcânhar (Ayoub, 2008), porém, as falanges, o rádio, o úmero, a tíbia e a rótula também podem ser utilizados como locais de medição (McDevitt & Ahmed, 2007; D'Elia et al., 2009). Nas crianças, a tíbia (eixo médio) e o rádio (terço distal) são os pontos do esqueleto normalmente utilizados (Baroncelli,

2008). As variáveis ultrassonográficas são medidas no lado não dominante (Baroncelli, 2008).

A ultrassonografia quantitativa tem como fundamento a propagação de ondas de ultrassom através do tecido ósseo, que refletem a estrutura e densidade do mesmo (D'Elia et al., 2009). A propagação das ondas de ultrassom através do osso é influenciada pela densidade óssea, módulo de elasticidade, micro e macro estrutura ósseas (Specker & Schoenau, 2005), pois estas propriedades físicas e mecânicas do osso alteram a forma, intensidade e velocidade das ondas (Krieg et al., 2008). Desta forma, o tecido ósseo pode ser caracterizado em termos de velocidade e atenuação do ultrassom (Krieg et al., 2008).

Os dispositivos ultrassonográficos, com base em propriedades de propagação das ondas de ultrassom, como a velocidade ou a atenuação do som, medem duas variáveis relevantes: a velocidade de som e a atenuação do ultrassom (Wren & Gilsanz, 2006; Baroncelli, 2008). A velocidade de som representa a velocidade de transmissão das ondas sonoras e, por norma, é medida no calcânhar, rádio, tíbia e rótula. A atenuação do ultrassom representa a perda de energia que ocorre devido à sua absorção pelo osso e tecido mole, à medida que o ultrassom percorre o material ósseo (Wren & Gilsanz, 2006; Chin & Ima-Nirwana, 2013), e é normalmente mensurada no calcânhar (Specker & Schoenau, 2005; Baroncelli, 2008). Estas duas variáveis estão associadas à força óssea (Krieg et al., 2008) e apresentam-se reduzidas na osteoporose. A velocidade de som está reduzida devido à diminuição do módulo de elasticidade, que ocorre com a perda de osso mineralizado, e a atenuação do ultrassom devido ao reduzido número de trabéculas para atenuar o sinal (Fogelman & Blake, 2000).

As variáveis mencionadas permitem medir indiretamente a massa e a estrutura ósseas e as propriedades mecânicas do osso (Ayoub, 2008; D'Elia et al., 2009) e,

quando reduzidos, os valores destas variáveis estão relacionados com mineral ósseo diminuído e permitem identificar crianças com um risco aumentado de fraturas (Baroncelli, 2008).

O DXA é considerado atualmente o método preferencial para a avaliação do CMO e da DMO (Crabtree et al., 2014). Vários estudos realizados com o objetivo de comparar o DXA com o ultrassom sugerem que nas crianças os resultados dos dispositivos ultrassonográficos podem ser comparados com os resultados obtidos por DXA, de forma a determinar o estado mineral ósseo e identificar fragilidade óssea (Baroncelli, 2008).

Ng e Sundram (1998) e Marín et al. (2006) demonstraram que as medições da DMO com ultrassom estão significativamente correlacionadas com as medições com DXA. Jaworski et al. (1995) compararam dados ultrassonográficos com medições de DMO através de DXA em crianças e concluíram que os resultados do ultrassom são precisos e permitem diferenciar crianças com massa óssea reduzida de crianças com valores normais de massa óssea. Os dados de Zebaze et al. (2003) fundamentam a fiabilidade e utilidade da ultrassonografia na avaliação do estado do osso em populações pediátricas. Savino et al. (2013) referem que o ultrassom é um dispositivo promissor na monitorização da saúde óssea em crianças. Fielding et al. (2003) afirmam que os dispositivos ultrassonográficos detetam o mineral ósseo reduzido em crianças com fraturas de fragilidade da mesma forma que o DXA. Hartman et al. (2004) referem que os resultados da avaliação do rádio e da tíbia por intermédio do ultrassom são comparáveis aos resultados obtidos por DXA. Por último, Njeh et al. (2000) demonstraram que a velocidade de som apresenta uma correlação significativa com a DMO medida por DXA.

Existe, portanto, evidência suficiente a demonstrar que a ultrassonografia quantitativa é um instrumento que permite avaliar o estado mineral ósseo e a fragilidade óssea em crianças de ambos os gêneros, de forma similar ao DXA (Baroncelli, 2008; Chin & Ima-Nirwana, 2013). Apesar de o DXA ser atualmente a referência para o diagnóstico da osteoporose, a ultrassonografia surge como uma técnica alternativa mais prática (Chin & Ima-Nirwana, 2013), que pode ser utilizada para uma avaliação inicial do estado mineral ósseo e para identificar crianças em risco de fragilidade óssea (Baroncelli, 2008).

2.2. Unidade Funcional Músculo-osso

Sempre que uma força é aplicada no osso, é criada uma carga que altera a sua forma, pelo que, quanto maior for esta carga mecânica, maior será a medida da sua deformação (Knudson, 2007). A resposta imediata do osso a uma carga depende da sua forma e resistência mecânica, assim como do tamanho e direção da força aplicada (Knudson, 2007). A atividade física representa um estímulo mecânico que pode ser originário da força resultante da contração muscular ou da força de reação do solo (forças de contacto), sendo a primeira, aparentemente, responsável pela maioria das respostas adaptativas do osso (Robling, 2009; Klein-Nulend et al., 2012). Este estímulo, se tiver uma magnitude suficiente e for aplicado com frequência significativa e de forma dinâmica, torna possível a adaptação funcional do osso, permitindo a osteogénese (Robling, 2009), razão pela qual o exercício físico é recomendado como forma de melhorar a força óssea nas crianças (Nikander et al., 2010).

A maior carga voluntária que é imposta aos ossos provém dos músculos (Schoenau, 2005). Durante a infância existe uma relação positiva entre a força muscular e a massa óssea, relação esta que é alterada após a puberdade (Rittweger, 2008). Esta

relação entre músculo e osso é fundamentada pela teoria do mecanostato, segundo a qual existe um mecanismo que regula o desenvolvimento ósseo. Este mecanostato analisa as deformações no osso, resultantes da contração muscular ativa, e, consoante o resultado, ajusta a força do osso pela regulação da atividade dos osteoblastos e osteoclastos. De acordo com a teoria do mecanostato, as forças resultantes da atividade física promovem a formação de osso durante a infância enquanto a inatividade física resulta num desenvolvimento e força musculares reduzidos, com efeitos negativos na massa, tamanho e força do osso (Schönaeu & Fricke, 2006; Schönaeu & Fricke, 2008). A força óssea durante o crescimento resulta, assim, sempre da adaptação do osso às cargas mecânicas, e quanto maiores as forças aplicadas ao osso, maior a sua adaptação (Schönaeu & Fricke, 2006; Janz et al., 2015). O ajustamento do mecanostato é assegurado por pontos de ajuste fisiológicos, determinados geneticamente e regulados pelo ambiente endócrino, que atuam como limiares para a iniciação ou inibição da modelação e remodelação ósseas (Schönaeu & Fricke, 2008).

Com base na teoria do mecanostato, surge um novo conceito, o de unidade funcional músculo-osso, uma nova abordagem diagnóstica funcional, sustentada na comparação dos dados densitométricos do osso com indicadores da força muscular, que permite avaliar a adaptação musculoesquelética e diagnosticar, tratar e prevenir as doenças ósseas pediátricas (Schoenau et al., 2004; Schoenau, 2005; Schönaeu & Fricke, 2006). A adaptação funcional do osso à carga fisiológica imposta pode ser interpretada utilizando métodos de avaliação que forneçam dados precisos de parâmetros ósseos, como o CMO, medidos por métodos densitométricos, e musculares, como a força ou o tamanho musculares (Schoenau et al., 2004; Schönaeu & Fricke, 2008). Apesar de a área de secção transversal do músculo ser um parâmetro muscular utilizado no estudo da relação entre músculo e osso, a potência muscular permite uma avaliação direta da

função muscular de um modo mais funcional, e a magnitude da sua associação com os indicadores da força do osso é quase idêntica à associação da área de secção transversal do músculo com os indicadores da força do osso (Janz et al., 2015). O salto vertical é um método simples e acessível que permite a avaliação da potência e função musculares na população pediátrica e fundamentar a já evidente dependência entre a força muscular e a massa óssea (Fricke et al., 2006). Têm assim surgido nos últimos anos estudos que relacionam a potência muscular, avaliada ou estimada através do salto vertical, com a saúde óssea.

2.3. Aptidão Física, Potência Muscular e Saúde Óssea

A aptidão física pode ser definida e interpretada de diferentes formas. Uma definição geralmente aceite considera a aptidão física um conjunto de atributos ou características que as pessoas possuem ou alcançam e que estão relacionados com a capacidade de realizar atividade física (ACSM, 2014). A aptidão física inclui vários componentes mensuráveis, os quais permitem subdividi-la em aptidão física relacionada com a saúde e aptidão física relacionada com o desempenho. Desta forma, a capacidade cardiorrespiratória, a força e a resistência musculares, a flexibilidade e a composição corporal são classificados como componentes da aptidão física relacionada com a saúde, ao passo que a agilidade, a coordenação, o equilíbrio, a potência, a velocidade e o tempo de reação, juntamente com as anteriores, são componentes da aptidão física relacionada com o desempenho (DHHS, 2008; ACSM, 2014).

A aptidão física relacionada com a saúde visa a prevenção ou reabilitação das doenças e a melhoria da capacidade funcional e das funções fisiológicas que permitem realizar as tarefas diárias (Plowman & Smith, 2013). Este conceito surgiu no final dos anos 70, do século passado, como resultado do maior foco na relação entre a atividade

física regular e os indicadores de saúde (Malina et al., 2004), e nos últimos anos tem vindo a aumentar a investigação sobre a relação entre a aptidão física e a saúde em crianças e adolescentes (Ortega et al., 2008).

A aptidão física deverá ser considerada um marcador útil de saúde, logo desde a infância e adolescência, sendo necessário proceder à sua avaliação (Ortega et al., 2008). As baterias de aptidão física integram vários testes que permitem avaliar globalmente a aptidão física (Morrow et al., 2016) e identificar crianças e adolescentes em risco para as principais doenças de saúde pública (Ruiz et al., 2006; Ruiz et al., 2011). Os dados obtidos possibilitam a criação de valores de referência, os quais são essenciais para interpretar os resultados, comunicá-los e definir objetivos individuais com vista à melhoria da saúde (IOM, 2012).

Existem atualmente, pelo menos, 15 baterias de teste da aptidão física em populações pediátricas (Castro-Piñero et al., 2010). Destas, o EUROFIT, aplicado na maioria dos países europeus, e o FITNESSGRAM, utilizado nos Estados Unidos da América e também em Portugal, são as mais utilizadas em contexto escolar. Ambas incluem e avaliam componentes da aptidão física relacionadas com a saúde (Morrow et al., 2016).

O EUROFIT foi concebido em 1988, pelo Comité para o Desenvolvimento do Desporto do Conselho da Europa, visa a população em idade escolar e tem como finalidade a obtenção e comparação de resultados de diferentes países europeus (Rubín & Suchomel, 1985). Esta bateria inclui testes de campo e medições antropométricas que permitem avaliar todos os componentes da aptidão física (Kemper & Mechelen, 1996).

O FITNESSGRAM inclui vários testes que avaliam todos os componentes da aptidão física relacionada com a saúde e, ao contrário do EUROFIT, está apenas relacionado com a saúde. A interpretação de resultados é baseada em critérios

referenciados à saúde, específicos para a idade e o género (Cooper Institute, 2013). É a bateria de testes da aptidão física mais utilizada a nível mundial.

A capacidade cardiorrespiratória é a capacidade dos sistemas circulatório e respiratório para fornecer oxigénio durante a atividade física prolongada. É expressa geralmente como uma medida ou estimativa do consumo máximo de oxigénio (DHHS, 2008). Existe uma relação entre este componente da aptidão física e vários fatores de risco para a saúde nos jovens, como a adiposidade e fatores de risco cardiometabólicos, a função pulmonar, a depressão e o autoconceito positivo, e a saúde óssea (IOM, 2012). A corrida do tipo vai-e-vem é um teste de corrida progressiva de 20 metros, que está organizado por níveis crescentes de intensidade e que permite avaliar a resistência cardiorrespiratória. Este teste tem uma excelente validade e fiabilidade enquanto medida da resistência cardiorrespiratória e, juntamente com os testes em tapete rolante e ciclo ergómetro, é o que está mais associado a uma mudança positiva num fator de risco para a saúde. A sua relação com a saúde, assim como a sua validade, fiabilidade e viabilidade, torna-o adequado para a avaliação da resistência cardiorrespiratória nos jovens (IOM, 2012).

A força e a resistência musculares representam, respetivamente, a capacidade de um músculo ou grupo muscular exercer força e a capacidade de a manter sem instalação de fadiga (DHHS, 2008). Ao contrário da capacidade cardiorrespiratória, é escassa a literatura de alta qualidade que suporte uma associação entre estes dois componentes da aptidão física relacionada com a saúde e marcadores de saúde nos jovens (IOM, 2012). A força isométrica máxima, avaliada por intermédio do teste de prensão manual, está associada negativamente com o colesterol LDL e com o rácio colesterol total/colesterol HDL em adolescentes (Ortega et al., 2004). A força e a resistência abdominal são importantes para uma boa postura e um correto alinhamento da pélvis (Cooper Institute,

2013) e são avaliadas através de testes de flexão do tronco. A força e a resistência do tronco, avaliadas pelo teste de flexão e extensão de braços, são importantes na realização das atividades da vida diária, na manutenção da saúde funcional e na postura (Cooper Institute, 2013).

A flexibilidade corresponde à amplitude possível de movimento de uma articulação (DHHS, 2008). Apesar da falta de evidência para uma associação entre a flexibilidade e a saúde nas crianças e adolescentes, este componente da aptidão física poderá estar relacionado com dores nas costas, risco de lesão e problemas posturais (IOM, 2012).

A composição corporal representa as quantidades relativas de músculo, gordura, osso e outros tecidos vitais do corpo (ACSM, 2014). Tal como nos adultos, a composição corporal está relacionada com marcadores de saúde nos jovens, de tal forma que: um índice de massa corporal (IMC) elevado representa um risco de desenvolvimento de diabetes de tipo II e hipertensão; o perímetro da cintura está relacionado com fatores de risco para as doenças cardiovasculares, a diabetes de tipo II e a mortalidade por todas as causas; as dobras cutâneas elevadas e a maior quantidade de gordura subcutânea no tronco estão associadas a um risco elevado de doenças cardiovasculares e síndrome metabólico (IOM, 2012).

A potência muscular, uma das três dimensões da aptidão musculoesquelética, representa o produto da força e da velocidade durante a execução de um esforço voluntário máximo contra uma resistência externa submáxima, sendo expressa em watts (IOM, 2012). Por ser um componente da aptidão física relacionada com o desempenho, a sua avaliação não está incluída no FITNESSGRAM e, apesar de o EUROFIT utilizar o salto horizontal para a avaliar, os resultados estão mais relacionados com a participação desportiva e o rendimento, do que propriamente com a saúde (Rubín &

Suchomel, 1985; Ruiz et al., 2006). A potência muscular é geralmente avaliada ou estimada através de testes de salto, que visam a análise da função muscular da parte inferior do corpo e medem a distância ou a altura alcançadas, sendo também comum utilizar os testes de lançamento para a avaliação da potência da parte superior do corpo (Malina et al., 2004; IOM, 2012). Os testes de salto implicam uma impulsão com uma ou ambas as pernas e uma recepção no solo com as duas pernas em simultâneo, podendo ser classificados como saltos horizontais ou verticais e bilaterais ou unilaterais (Magee et al., 2007).

O salto vertical é um teste de desempenho anaeróbio aplicado com o objetivo de avaliar a potência anaeróbia (Murray et al., 2007), a força explosiva (Ruiz et al., 2006) e/ou a potência muscular (IOM, 2012) dos membros inferiores, com base na altura alcançada (Magee et al., 2007). Está incluído em baterias de teste que visam avaliar a aptidão física, nomeadamente a aptidão musculoesquelética, tanto em crianças e jovens, como em adultos, e pode ser realizado no terreno, utilizando testes simples, ou no laboratório, com recurso ao uso de uma plataforma de força (Magee et al., 2007; Plowman & Smith, 2013). Este tipo de teste não requer uma habilidade motora elevada e é facilmente aprendido pelas crianças (Murray et al., 2007). Todavia, nem todas as crianças conseguem realizar o salto vertical com um padrão motor apropriado, podendo este facto limitar a utilidade deste salto na medição da potência muscular (Malina et al., 2004).

O salto vertical pode ser realizado de forma estática ou com contramovimento, com impulsão de uma ou de duas pernas, com ou sem corrida de balanço, e com ou sem movimento dos membros superiores. O salto vertical unilateral, com impulsão com uma perna, permite comparar as duas pernas e aferir a existência de défices ou assimetrias (Magee et al., 2007).

Sobretudo o salto com contramovimento, mas também o salto estático, se avaliados com uma plataforma de salto ou um tapete de contato, são os testes de impulsão com maior validade para estimar a força explosiva dos membros inferiores (Markovic et al., 2004). No salto estático, o participante adota uma posição de agachamento, com uma flexão dos joelhos e das ancas de cerca de 90°, e salta verticalmente. O resultado obtido é um indicador da força explosiva (Ruiz et al., 2006). No salto com contramovimento, o sujeito começa em pé, realiza uma impulsão com as duas pernas, após uma flexão prévia dos joelhos a cerca de 90°, e salta verticalmente o mais alto possível (Tomkinson & Olds, 2008). O resultado obtido é um indicador da força explosiva e da energia elástica (Ruiz et al., 2006). Em termos funcionais, o salto com contramovimento é o mais adequado, pois incorpora o ciclo de alongamento-encurtamento, que está presente na maioria dos saltos verticais espontâneos das crianças, os quais implicam naturalmente alternância rápida de cargas na unidade musculotendinosa (Magee et al., 2007).

A relação entre a aptidão musculoesquelética, particularmente a potência muscular, e a saúde em crianças e adolescentes é limitada, existindo atualmente pouca evidência a corroborá-la (IOM, 2012). O Institute of Medicine dos Estados Unidos da América recomenda que o teste de impulsão horizontal seja incluído em estudos a nível nacional que visem a avaliação da aptidão física da população jovem em geral, todavia, ressalva que este teste não deve ser interpretado num contexto de saúde, até que a sua relação com os indicadores de saúde nos jovens esteja plenamente estabelecida (IOM, 2012). Não obstante, estudos relativos à saúde óssea em populações pediátricas, realizados quer no terreno, quer no laboratório, têm vindo a demonstrar uma relação entre o desempenho nos testes de impulsão e indicadores da saúde óssea (Vicente-Rodriguez et al., 2003; Vicente-Rodriguez et al., 2004; Binkley & Specker, 2008;

Vicente-Rodríguez et al., 2008; Weeks & Beck, 2010; Moraes et al., 2013; Zribi et al., 2014; Janz et al., 2015; Baptista et al., 2016).

Em jovens adultos, o desempenho em testes de impulsão é um determinante positivo da DMO na anca (El Hage et al., 2015), e a potência muscular está relacionada com a força da tíbia em mulheres idosas (Ashe et al., 2008) e com a força óssea em idosos do sexo masculino (Cousins et al., 2010).

No que concerne a estudos realizados com jovens no terreno: Moraes et al. (2013), num estudo realizado com uma amostra de 300 adolescentes brasileiros em que utilizou a ultrassonografia nas falanges da mão para determinar a saúde óssea, demonstraram que nos rapazes o teste do salto horizontal foi um preditor positivo independente da velocidade de som e que a aptidão física relacionada com o sistema neuromotor podia ter influência na quantidade de osso presente. No estudo de Janz et al. (2015), realizaram-se saltos estáticos sem contramovimento em adolescentes de ambos os géneros, de forma a calcular a potência muscular dos membros inferiores, avaliou-se a força óssea, por intermédio de tomografia computadorizada quantitativa periférica, e compararam-se os resultados destas duas variáveis. Os autores concluíram que os resultados obtidos suportam a significância da potência muscular enquanto preditor da força óssea e que há uma associação consistente entre potência muscular e força da tíbia. Weeks & Beck (2010), com o objetivo de identificar possíveis diferenças de género na relação entre atividade física e estado maturacional com a massa e qualidade ósseas durante a adolescência, estimaram a potência muscular através de um salto vertical com contramovimento e compararam-na com parâmetros da saúde óssea. A potência muscular, juntamente com a atividade física, foi o mais forte preditor da massa óssea nos rapazes.

Os resultados e as conclusões dos estudos realizados no terreno são corroborados por pesquisas realizadas em laboratório. O uso de plataformas portáteis de salto para a avaliação da função muscular de diferentes populações, por intermédio de um método denominado mecanografia do salto, tem vindo a tornar-se comum em contexto clínico (Fricke et al., 2006; Veilleux & Rauch, 2010). Esta técnica abrange vários testes, os quais são aplicados em função do estado funcional do sujeito ou do objetivo científico do estudo (Veilleux et al., 2012).

Através das plataformas de salto, e do programa informático correspondente, é possível medir diretamente a força de reação do solo e o tempo do salto e calcular parâmetros cinéticos, como a altura do salto, a velocidade do movimento vertical do centro de gravidade, a potência do salto e a potência relativa, os picos da força e da potência do salto, a aceleração e a eficiência do movimento, os quais podem ser utilizados para avaliar indiretamente vários parâmetros da função muscular dos membros inferiores (Linthorn, 2001; Runge & Hunter, 2006; Binkley & Specker, 2008; Rietschel et al., 2008; Rauch et al., 2012; Matheson et al., 2013; Buehring et al., 2015; Dietzel et al., 2015; Siglinsky et al., 2015).

A potência relativa representa a relação entre a potência máxima alcançada durante a impulsão e a massa corporal do sujeito e parece ser o parâmetro mais importante dos testes mecanográficos (Matheson et al., 2013). O pico da força do salto corresponde à força máxima exercida na parte ascendente do melhor salto (Fricke et al., 2006; Rietschel et al., 2008).

O pico da potência do salto representa o valor mais elevado da potência calculada do melhor salto (Fricke et al., 2006; Rietschel et al., 2008). A velocidade máxima é definida como a velocidade mais elevada do melhor salto (Rietschel et al., 2008).

O salto vertical com contramovimento é o teste mais utilizado nos estudos mecanográficos e os seus resultados são influenciados por fatores relativos ao sujeito, como a potência muscular, coordenação, equilíbrio e técnica de salto (Veilleux & Rauch, 2010). Desta forma, permite aferir as propriedades ósseas e tendinosas, como a rigidez e elasticidade, bem como o equilíbrio, as interações neuromusculares e os parâmetros musculares, como a massa e a estrutura (Buehring et al., 2010).

Os resultados de estudos realizados com recurso à mecanografia de salto apontam para uma relação entre o desempenho no teste do salto vertical, com e sem contramovimento, e a saúde óssea (Vicente-Rodriguez et al., 2003; Vicente-Rodriguez et al., 2004; Binkley & Specker, 2008; Zribi et al., 2014). Vicente-Rodriguez et al. (2004) avaliaram várias componentes da aptidão física de rapazes futebolistas pré-púberes e demonstraram que, de todas as variáveis analisadas, o impulso mecânico positivo gerado durante o salto vertical com contramovimento foi o que apresentou a maior correlação com o aumento da DMO e CMO da anca e coluna lombar, e que uma melhoria nos resultados do salto vertical com contramovimento tem um valor preditivo para o aumento da massa óssea de rapazes em crescimento. A força e a potência musculares obtidas através de um salto vertical com contramovimento estão associadas positivamente com parâmetros ósseos medidos por intermédio de tomografia computadorizada quantitativa periférica em crianças saudáveis e são indicadores da força óssea (Binkley & Specker, 2008). Num estudo realizado com uma população muito semelhante à nossa, Baptista et al. (2016) demonstraram a validade do pico de potência do salto vertical como forma de identificar crianças com DMO abaixo da média.

Em suma, existe uma aparente relação entre o desempenho nos testes de impulsão, nomeadamente no salto vertical, e os determinantes da força óssea. Estes

determinantes estão associados a fraturas em crianças e poderão contribuir para o risco de fratura futura (Clark et al., 2006). Os testes de impulsão poderão, assim, ser úteis na detecção de crianças e jovens com massa óssea potencialmente reduzida (Vicente-Rodriguez et al., 2003; Vicente-Rodríguez et al., 2008) e, como afirmam Janz et al. (2015), é altura de considerar a potência muscular como um componente da aptidão física relacionada com a saúde e aplicar o salto vertical com o objetivo de monitorizar programas de intervenção que visem otimizar a saúde óssea.

3. METODOLOGIA

3.1. Amostra

A amostra utilizada no presente estudo é composta por 63 crianças de 9 anos de idade (33 raparigas e 30 rapazes) do 3.º ano de escolaridade, com idades compreendidas entre 8,5 e os 9,4 anos. Nenhum dos participantes reportou tomar medicação suscetível de afetar o metabolismo ósseo. Todos os participantes e respetivos encarregados de educação foram informados relativamente aos objetivos do estudo e deram o seu consentimento por escrito.

3.2. Velocidade de Som Radial e Tibial

A velocidade de som ao nível ósseo foi avaliada através do aparelho de ultrassom USQ Omnisense (8000 Pediatric, BeamMed, Tel Aviv, Israel), no rádio e na tíbia dos membros não dominantes, com coeficientes de variação da velocidade de som de 0,3 para o rádio e 0,4 para a tíbia. Todas as medições foram realizadas pelo mesmo técnico.

Foi seguido o protocolo recomendado pelo fabricante, que consistiu no seguinte:

O rádio (1/3 distal) foi avaliado a meio da distância entre o cotovelo e o dedo médio. Com o sujeito sentado, com o cotovelo apoiado numa mesa e com um ângulo de cerca de 90° entre o braço e o antebraço, foi marcado o ponto médio entre o cotovelo e o dedo médio. De seguida, o antebraço foi colocado estendido em cima da mesa, com o cotovelo apoiado. Nesta posição, a sonda foi movimentada continuamente de dentro para fora e de fora para dentro durante quatro a cinco segundos.

A tíbia (diáfise) foi avaliada a meio da distância entre o calcanhar e o joelho. Com o sujeito sentado, com um ângulo de cerca de 90° entre a coxa e o tronco e entre a coxa e a perna, foi marcado o ponto médio entre o calcanhar e o joelho. De seguida, a

perna foi colocada estendida em cima de uma cadeira, com o tornozelo apoiado. Nesta posição, com a sonda colocada paralelamente à tíbia, a sonda foi movimentada continuamente de dentro para fora e de fora para dentro durante cinco a seis segundos.

3.3. Potência Muscular

Para a avaliação da potência muscular, foi realizado um salto vertical com contramovimento. O teste foi realizado de acordo com o protocolo descrito por Bosco (1994). Foi pedido aos participantes que saltassem o mais alto e o mais rápido possível e que, após um período de repouso, repetissem os saltos até deixar de ocorrer uma melhoria nos resultados, tendo sido escolhido o melhor salto. Foi utilizada uma plataforma de força (Ergojump-Boscosystem) ligada a um computador com o programa informático Chronojump, que calculou a altura do salto (em cm) com base no tempo de voo registado. Todas as medições foram realizadas pelo mesmo técnico. A potência do salto foi estimada com base na fórmula de Duncan et al. (2013).

Tabela 1. Equações estimativas da potência do salto

Raparigas	Pico da Potência (Watts), Raparigas = $3.717 \times \exp(0.054 \times \text{idade}) \times \text{massa corporal}^{0.829} \times \text{altura do salto}^{0.636}$
Rapazes	Pico da Potência (Watts), Rapazes = $3.717 \times 1.108 \times \exp(0.054 \times \text{idade}) \times \text{massa corporal}^{0.829} \times \text{altura do salto}^{0.636}$

Altura em cm; Massa corporal em Kg.

3.4. Antropometria

A massa corporal e a estatura foram avaliadas com base no protocolo da International Society for the Advancement of Kinanthropometry (Marfell-Jones et al., 2006). A massa corporal foi medida por uma balança eletrónica calibrada no local e

com uma precisão de 0,1 kg (Seca, modelo 770, Hamburg, Germany). Para a mensuração da estatura, foi utilizado um estadiómetro (Seca, modelo 770, Hamburg, Germany) com uma precisão de 0,1 cm. Com base na massa corporal e na estatura em pé, calculou-se o índice de massa corporal (peso (kg)/altura (m)². Todas as medições foram realizadas pelo mesmo técnico.

3.5. Maturidade

O pico de velocidade em altura (PVA) foi o indicador utilizado para determinar a maturidade somática, com base nas equações preditivas de Mirwald et al. (2002). Nestas equações, as variáveis idade, género, massa corporal, estatura, estatura sentada e comprimento do membro inferior são utilizadas como preditores.

Tabela 2. Equações preditivas da maturidade biológica

Raparigas	$MO = -9,376 + ((0,0001882 * (CMInf * AS)) + (0,0022 * (Id * CMInf)) + (0,005841 * (Id * AS)) - (0,002658 * (Id * MC)) + (0,07693 * (MC/A)))$
Rapazes	$MO = -9,236 + ((0,0002708 * (CMInf * AS)) - (0,001663 * (Id * CMInf)) + (0,007216 * (Id * AS)) + (0,02292 * (MC/A)))$

MO, Maturity offset; CMInf, Comprimento do membro inferior; AS, Altura sentado; Id, Idade decimal; MC, Massa corporal; A, Altura.

3.6. Saúde e Historial de Fraturas Ósseas

Foi entregue aos encarregados de educação um questionário que visou a recolha de informação relativa ao estado geral de saúde, ao uso de medicação e ao historial de fraturas. Foram reportados três casos de fraturas (dois nos rapazes e um nas raparigas).

3.7. Análise Estatística

A análise estatística foi realizada através do programa SPSS versão 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). Os resultados descritivos são apresentados através da média e desvio padrão ($M \pm DP$). A caracterização da amostra foi feita separadamente para rapazes e raparigas e os grupos foram comparados através de um teste t para amostras independentes. As associações entre medidas dos parâmetros ósseos e a capacidade muscular foram analisadas através de correlações bivariadas, separadamente para rapazes e raparigas e considerando também a amostra total.

Os valores de $p < 0.05$ foram considerados estatisticamente significativos.

4. RESULTADOS

Na Tabela 3, apresentam-se as características da amostra relativamente à idade, maturidade, massa corporal, estatura, IMC, parâmetros ósseos e capacidade muscular. Esta amostra é composta por rapazes e raparigas com uma idade média de 9 anos que se situam a uma distância de 4,4 anos do seu pico de velocidade em altura. Foram observados valores superiores de velocidade de som radial e de potência do salto nos rapazes, não se verificando diferenças significativas entre os géneros nas restantes variáveis.

Tabela 3. Caracterização da amostra: idade, maturidade, estatura, parâmetros ósseos e capacidade muscular.

	Raparigas	Rapazes	P-Value
Idade (anos)	8,9 ± 0,3	8,9 ± 0,3	0,691
Idade PVA (anos)	13,3 ± 0,2	13,3 ± 0,3	0,975
Distância PVA (anos)	-4,4 ± 0,2	-4,4 ± 0,2	0,668
Massa Corporal (kg)	32,5 ± 7,2	31,2 ± 5,5	0,444
IMC (kg/m ²)	18,3 ± 3,1	17,7 ± 2,4	0,411
Estatura (cm)	132,8 ± 5,4	132,5 ± 4,6	0,825
Altura sentada (cm)	70,4 ± 2,6	70,6 ± 2,7	0,799
VS radial (m/s)	3661,7 ± 104	3716,1 ± 86,6	0,028
VS tibial (m/s)	3456,1 ± 118,3	3505,5 ± 135	0,127
Altura de Salto (cm)	19,24 ± 2,9	20,4 ± 3,8	0,171
Potência de Salto (W)	700,1 ± 122,1	773,6 ± 83,5	0,007

PVA, pico de velocidade em altura; IMC, índice de massa corporal; VS, velocidade de som.

Relativamente às associações entre variáveis ósseas, capacidade muscular e maturidade somática, foi observada uma correlação positiva entre a potência de salto e a maturidade somática tanto em rapazes como em raparigas mas com valor de correlação bastante mais elevado nos rapazes (Tabela 4). Quando se estandardizaram os valores da velocidade de som radial e tibial, assim como da potência de salto, continuaram a evidenciar-se as mesmas associações anteriores, mas foi também evidenciada nas raparigas uma correlação positiva da maturidade somática com a velocidade de som

tibial (enquanto nos rapazes a associação é de sinal contrário e não significativa). A Tabela 5 e a Figura 1 mostram ainda uma correlação negativa entre a velocidade de som da tíbia e a potência de salto nos rapazes.

Tabela 4. Associações entre medidas dos parâmetros ósseos e capacidade muscular (variáveis expressas em valores absolutos).

	Altura de Salto	Potência de Salto	Distância PVA
<i>Raparigas</i>			
VS radial	-0,204	-0,107	0,044
VS tibial	0,049	-0,170	0,305
Distância PVA	0,247	0,384*	---
<i>Rapazes</i>			
VS radial	-0,083	-0,310	-0,148
VS tibial	-0,089	-0,279	-0,020
Distância PVA	-0,211	0,631**	---

VS, velocidade de som; PVA, pico de velocidade em altura

*p<0,05;**p<0,001

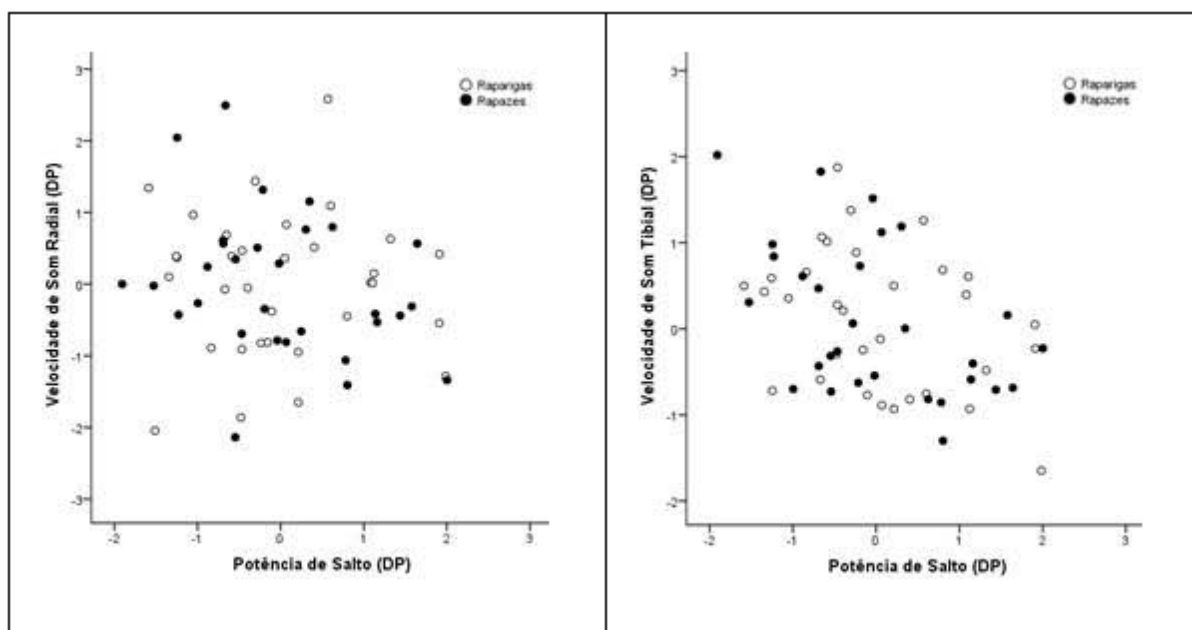
Tabela 5. Associações entre medidas dos parâmetros ósseos e capacidade muscular (variáveis expressas em valores estandardizados, tendo como referência a média e o desvio padrão da amostra nas respetivas variáveis).

	Potência de Salto	Distância PVA
<i>Amostra Total</i>		
VS radial	-0,142	-0,068
VS tibial	-0,268*	0,044
Distância PVA	0,489*	---
<i>Raparigas</i>		
VS radial	-0,119	-0,084
VS tibial	-0,344	0,358*
Distância PVA	0,357*	---
<i>Rapazes</i>		
VS radial	-0,288	-0,133
VS tibial	-0,490**	-0,290
Distância PVA	0,582**	---

VS, velocidade de som; PVA, pico de velocidade em altura

*p<0,05;**p<0,001

Figura 1. Diagrama de dispersão que ilustra a relação entre a velocidade de som no rádio e na tibia e a potência do salto vertical.



5. DISCUSSÃO

O presente estudo procurou relacionar a potência muscular dos membros inferiores com a fragilidade óssea e avaliar a capacidade do salto vertical para identificar crianças com massa óssea reduzida. Não temos conhecimento de estudos deste género que tenham utilizado a ultrassonografia como instrumento de avaliação do osso.

Através da análise dos resultados, é possível concluir que, ao contrário do que seria expectável, houve uma associação negativa entre a potência muscular e a velocidade de som nos rapazes. Nas raparigas houve uma associação negativa, mas fraca.

Os nossos resultados aparentam ser coerentes com as conclusões de outros estudos que não encontraram relação entre a altura do salto e a DMO e o CMO nas pernas. Jurimae et al. (2008), ao contrário do que esperavam, demonstraram que numa amostra de crianças pré-púberes a altura alcançada no salto vertical não está correlacionada com a DMO das pernas nem aparenta ser um preditor significativo da mesma nesta idade, em ambos os géneros. Este estudo não descreve o tipo de salto utilizado e usou o DXA para avaliar a DMO. Noutro estudo, realizado com raparigas pré-púberes e que também utilizou o DXA para avaliar parâmetros ósseos, os autores indicaram que a altura do salto vertical foi o único parâmetro da função muscular a não estar associado positivamente com o CMO da perna (Daly et al., 2008). Desta forma, podemos questionar a utilização do salto vertical como instrumento de avaliação da função muscular nas crianças.

Comparativamente com os adultos, as crianças têm um desempenho inferior no salto vertical, pois este requer um elevado nível de coordenação neuromecânica e as

crianças apresentam uma ativação muscular e uma regulação da rigidez menos efetivas (IOM, 2012; Patikas, 2014). O próprio treino e a prática têm influência no resultado, ocorrendo um efeito de aprendizagem (Kemper & Mechelen, 1996). Malina et al., (2004) referem que um desempenho ótimo no salto vertical requer uma prática prévia e afirmam que este teste pode estar limitado na avaliação da potência muscular. Todavia, num estudo recente realizado com uma amostra muito idêntica, Baptista et al. (2016) demonstraram que o pico de potência alcançado no salto com contramovimento permite identificar crianças com DMO abaixo da média. Este estudo utilizou o DXA para avaliar a DMO, o que nos leva, por outro lado, a questionar a validade do ultrassom na avaliação do osso.

Apesar da evidência de uma correlação significativa entre as medições da DMO com ultrassom e com DXA (Ng & Sundram 1998; Marín et al. 2006), não encontramos referências a estudos realizados com crianças e que tenham comparado o resultado do salto vertical com parâmetros ósseos avaliados com ultrassom. Uma justificação possível pode fundamentar-se no facto de que, apesar da facilidade e conveniência do uso, os valores de velocidade de som obtidos no rádio por intermédio do ultrassom não revelam ser adequados para avaliar ou estimar o estado da qualidade óssea em crianças (Srichan et al., 2015). Schönau e Fricke (2011) referem que a interpretação dos resultados ultrassonográficos em crianças e adolescentes é vaga. Chong et al. (2009), porém, não contestando a divergência dos valores radiais de ultrassom e de DXA na avaliação do estado ósseo das crianças, salientam que a ultrassonografia pode ser utilizada como método de avaliação, propondo mesmo valores de referência para crianças saudáveis.

Relativamente aos resultados do presente estudo, não encontramos fundamentação para as associações negativas entre a potência de salto e a velocidade de

som tibial, sendo possível que, nos rapazes, o facto de a maturidade somática estar associada positivamente à potência de salto e negativamente à velocidade de som tibial possa justificar esta associação. Os dados do presente estudo demonstraram que as crianças com um melhor desempenho no salto vertical apresentam valores inferiores no que se refere à velocidade de som na tíbia. Este resultado, por ser contrário às conclusões dos estudos mencionados na revisão da literatura, carece de confirmação por parte de novos estudos.

A relação músculo-osso é cada vez mais evidente, contudo, fatores como o género, a maturidade, o desenho do estudo e as variáveis analisadas podem modificar esta relação (Kindler et al., 2015).

6. CONCLUSÃO

A potência de salto não parece constituir um bom marcador da saúde óssea de rapazes e raparigas de 9 anos quando esta é avaliada através de ultrassom. Contrariamente ao observado quando a saúde óssea é avaliada por DXA ou por tomografia computadorizada quantitativa, valores mais elevados de potência muscular encontraram-se associados a valores mais baixos de velocidade de som, sobretudo na tíbia e nos rapazes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACSM (American College of Sports Medicine) (2014). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Ammann, P. & Rizzoli, R. (2010). Bone quality and strength. Em Rizzoli, R. (Ed.), *Atlas of Postmenopausal Osteoporosis* (pp. 61-82). New York: Springer.
- Ashe, M. C., Liu-Ambrose, T. Y., Cooper, D. M., Khan, K. M. & McKay, H. A. (2008). Muscle power is related to tibial bone strength in older women. *Osteoporosis International*, 19(12), 1725-32.
- Augat, P. & Schorlemmer, S. (2006). The role of cortical bone and its microstructure in bone strength. *Age and Ageing*, 35(S2), ii27-ii31.
- Ayoub, W. T. (2008). Diagnostic tests and interpretation. Em Gueldner, S. H., Newman, E. D., Grabo, T. N. & Cooper, D. (Eds.), *Osteoporosis: Clinical Guidelines for Prevention, Diagnosis, and Management* (pp. 33-46).
- Bachrach, L. K., Sills, I. N. & Section of Endocrinology. (2011). Clinical Report—Bone Densitometry in Children and Adolescents. *Pediatrics*, 127(1), 189-94.
- Baptista, F., Mil Homens, P., Carita, A. I., Janz, K. F. & Sardinha, L. B. (2016). Peak Vertical Jump Power as a Marker of Bone Health in Children. *International Journal of Sports Medicine* (in press).
- Baroncelli, G. L. (2008). Quantitative Ultrasound Methods to Assess Bone Mineral Status in Children: Technical Characteristics, Performance, and Clinical Application. *Pediatric Research*, 63(3), 220-8.
- Binkley, T. L. & Specker, B. L. (2008). Muscle-bone relationships in the lower leg of healthy pre-pubertal females and males. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 8 (3), 239-243.

- Bishop, N., Sprigg, A. & Dalton, A. (2007). Unexplained fractures in infancy: looking for fragile bones. *Archives of Disease in Childhood*, 92(3), 251-256.
- Bonafede, M., Espindle, D. & Bower, A. G. (2013). The direct and indirect costs of long bone fractures in a working age US population. *Journal of Medical Economics*, 16(1), 169-78.
- Bosco, C. (1994). *La valoración de la fuerza con el test de Bosco*. Barcelona: Paidotribo.
- Buehring, B., Krueger, D. & Binkley, N. (2010). Jumping Mechanography: A Potential Tool for Sarcopenia Evaluation in Older Individuals. *Journal of Clinical Densitometry*, 13(3), 283-91.
- Buehring, B., Krueger, D., Fidler, E., Gangnon, R., Heiderscheit, B. & Binkley, N. (2015). Reproducibility of jumping mechanography and traditional measures of physical and muscle function in older adults. *Osteoporosis International*, 26(2), 819-25.
- Castro-Piñero, J., Artero, E. G., España-Romero, V., Ortega, S. B., Sjöström, M., Suni, J. & Ruiz, J. R. (2010). Criterion-related validity of field-based fitness tests in youth: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 934-43.
- Chavassieux, P., Seeman, E. & Delmas, P. D. (2007). Insights into Material and Structural Basis of Bone Fragility from Diseases Associated with Fractures: How Determinants of the Biomechanical Properties of Bone Are Compromised by Disease. *Endocrine Reviews*, 28(2), 151-64.
- Chin, K. & Ima-Nirwana, S. (2013). Calcaneal Quantitative Ultrasound as a Determinant of Bone Health Status: What Properties of Bone Does It Reflect?. *International Journal of Medical Sciences*, 10(12), 1778-1783.

- Chong, K. H., Poh, B. K., Jamil, N. A., Kamaruddin, N. A. & Deurenberg, P. (2009). Radial Quantitative Ultrasound and Dual Energy X-Ray Absorptiometry: Intermethod Agreement for Bone Status Assessment in Children. *BioMed Research International*, 232876.
- Clark, E. M., Ness, A. R., Bishop, N. J. & Tobias, J. H. (2006). Association Between Bone Mass and Fractures in Children: A Prospective Cohort Study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 21(9), 1489-1495.
- Clark, E. M., Tobias, J. H. & Ness, A. R. (2006). Association Between Bone Density and Fractures in Children: A Systematic Review and Meta-analysis. *Pediatrics*, 117 (2), e291-e297.
- Clarke, B. (2008). Normal Bone Anatomy and Physiology. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 3, S131-9.
- Clements, S. & Randsborg, P. (2014). School-related fractures. *Tidsskr Nor Lægeforen*, 5(134), 521-4.
- Cooper, C., Elaine, M. D., Herbert, G. M. L., Nicholas, B. & Tjeerd, P. van Staa. (2004). Epidemiology of Childhood Fractures in Britain: A Study Using the General Practice Research Database. *Journal of Bone and Mineral Research*, 19(1), 1976-1981.
- Cooper Institute (2013). *FITNESSGRAM/ACTIVITYGRAM Test Administration Manual, Updated Fourth*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Cousins, J. M., Petit, M. A., Paudel, M. L., Taylor, B. C., Hughes, J. M., Cauley, J. A., . . . Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) Study Group. (2010). Muscle power and physical activity are associated with bone strength in older men: The osteoporotic fractures in men study. *Bone*, 47(2), 205-11.

- Crabtree, N. J., Arabi, A., Bachrach, L. K., Fewtrell, M., El-Haji Fuleihan, G., Kecskemethy, H. H., . . . International Society for Clinical Densitometry (2014). Dual-energy X-ray absorptiometry interpretation and reporting in children and adolescents: the revised 2013 ISCD Pediatric Official Positions. *Journal of Clinical Densitometry*, 17(2), 225-42.
- Cummings, S. R., Bates, D. & Black, D. M. (2002). Clinical Use of Bone Densitometry - Scientific Review. *JAMA*, 288(15), 1889-97.
- D'Elia, G., Caracchini, G., Cavalli, L. & Innocenti, P. (2009). Bone fragility and imaging techniques. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism*, 6(3), 234-246.
- Daly, R. M., Stenevi-Lundgren, S., Linden, C. & Karlsson, M. K. (2008). Muscle determinants of bone mass, geometry and strength in prepubertal girls. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40 (6), 1135-41.
- DHHS (Department of Health and Human Services) (2008). *Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report, 2008*. Washington, DC: U.S.
- Dietzel, R., Felsenberg, D. & Armbrecht, G. (2015). Mechanography performance tests and their association with sarcopenia, falls and impairment in the activities of daily living – a pilot cross-sectional study in 293 older adults. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 15(3), 249-56.
- Duncan, M. J., Hankey, J. & Nevill, A. M. (2013). Peak-Power Estimation Equations in 12- to 16-Year-Old Children: Comparing Linear with Allometric Models. *Pediatric Exercise Science*, 25, 385-393.
- El Hage, R., Zakhem, E., Zunquin, G., Theunynck, D., Moussa, E. & Maalouf, G. (2015). Performances in Vertical Jump and Horizontal Jump Tests Are Positive

- Determinants of Hip Bone Mineral Density in a Group of Young Adult Men. *Journal of Clinical Densitometry*, 18(1), 136-7.
- Espanha, M., Correia, P. P., Silva, P. A. & Pascoal, A. G. (1999). Tecido Conjuntivo do Aparelho Locomotor. Em Espanha, M. (Ed.), *Anatomofisiologia. Tomo I. Sistema Osteoarticular* (pp. 29-49). Cruz Quebrada: FMH Edições.
- Faulkner, R. A. & Bailey, D. A. (2007). Osteoporosis: A Pediatric Concern?. Em Daly, R. & Petit, M. (Eds.), *Optimizing Bone Mass and Strength: The Role of Physical Activity and Nutrition during Growth* (pp. 1-12). Med Sport Sci. Basel, Karger, vol 51.
- Fielding, K. T., Nix, D. A. & Bachrach, L. K. (2003). Comparison of Calcaneus Ultrasound and Dual X-Ray Absorptiometry in Children at Risk of Osteopenia. *Journal of Clinical Densitometry*, 6(1), 7-15.
- Fogelman, I. & Blake, G. M. (2000). Different approaches to bone densitometry. *Journal of Nuclear Medicine*, 41(12), 2015-25.
- Fricke, O., Weidler, J., Tutlewski, B. & Schoenau, E. (2006). Mechanography-A New Device for the Assessment of Muscle Function in Pediatrics. *Pediatric Research*, 59 (1), 46-49.
- Gkiatas, I., Lykissas, M., Kostas-Agnantis, I., Korompilias, A., Batistatou, A. & Beris, A. (2015). Factors affecting bone growth. *American Journal of Orthopedics*, 44(2), 61-7.
- Goulding, A., Grant, A. M. & Williams, S. M. (2005). Bone and Body Composition of Children and Adolescents with Repeated Forearm Fractures. *Journal of Bone and Mineral Research*, 20(12), 2090-6.
- Hartman, C., Shamir, R., Eshach-Adiv, O. & Brik, R. (2004). Assessment of Osteoporosis by Quantitative Ultrasound versus Dual Energy X-Ray

- Absorptiometry in Children with Chronic Rheumatic Diseases. *Journal of Rheumatology*, 31(5), 981-5.
- Hedstrom, E. M., Svensson, O., Bergstrom, U. & Michno, P. (2010). Epidemiology of fractures in children and adolescents. Increased incidence over the past decade: a population-based study from northern Sweden. *Acta Orthopaedica*, 81(1), 148-153.
- IOM (Institute of Medicine). (2012). *Fitness Measures and Health Outcomes in Youth*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Janz, K. F., Letuchy, E. M., Burns, T. L., Francis, S. L. & Levy, S. M. (2015). Muscle Power Predicts Adolescent Bone Strength: Iowa Bone Development Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(10), 2201-6.
- Jaworski, M., Lebedowski, M., Lorenc, R. S. & Trempe, J. (1995). Ultrasound bone measurement in pediatric subjects. *Calcified Tissue International*, 56(5), 368-71.
- Joeris, A., Lutz, N., Wicki, B., Slongo, T. & Audigé, L. (2014). An epidemiological evaluation of pediatric long bone fractures — a retrospective cohort study of 2716 patients from two Swiss tertiary pediatric hospitals. *BMC Pediatrics*, 14(314).
- Jurimae, T., Hurbo, T. & Jurimae, J. (2008). Relationships Between Legs Bone Mineral Density, Anthropometry and Jumping Height in Prepubertal Children. *Collegium Antropologicum*, 32(1), 61-6.
- Kanis, J. A. (2002). Diagnosis of osteoporosis and assessment of fracture risk. *Lancet*, 359 (1), 1929-36.
- Kanis, J. A., Johnell, O., De Laet, C., Johansson, H., Oden, A., Delmas, P., . . . Tenenhouse, A. (2004). A meta-analysis of previous fracture and subsequent fracture risk. *Bone*, 35(2), 375-82..

- Kemper, H. & Mechelen, W. (1996). Physical Fitness Testing of Children: A European Perspective. *Pediatric Exercise Science*, 8(3), 201-214.
- Kindler, J. M, Lewis, R. D. & Hamrick, M. W. (2015). Skeletal muscle and pediatric bone development. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes and Obesity*, 22(6), 467-74.
- Klein, G. L., Fitzpatrick, L. A., Langman, C. B., Beck, T. J., Carpenter, T. O., Gilsanz, V.,... ASBMR Group. (2005). The State of Pediatric Bone: Summary of the ASBMR Pediatric Bone Initiative. *Journal of Bone and Mineral Research*, 20(12), 2075-81.
- Klein-Nulend, J., Bacabac, R. G. & Bakker, A. D. (2012). Mechanical loading and how it affects bone cells: the role of the osteocyte cytoskeleton in maintaining our skeleton. *European Cells & Materials*, 24(24), 278-91.
- Klotzbuecher, C. M., Ross, P. D., Landsman, P. B., Abbott III, T. A. & Berger, M. (2000). Patients with Prior Fractures Have an Increased Risk of Future Fractures: A Summary of the Literature and Statistical Synthesis. *Journal of Bone and Mineral Research*, 15(4), 721-739.
- Knudson, D. (2007). *Fundamentals of Biomechanics*. New York: Springer.
- Kopjar, B. & Wickizer, T. M. (1998). Fractures among children: incidence and impact on daily activities. *Injury Prevention*, 4(3), 194-7.
- Krieg, M. A., Barkmann, R., Gonnelli, S., Stewart, A., Bauer, D. C., Del Rio, L., . . . Hans, D. (2008). Quantitative ultrasound in the management of osteoporosis: the 2007 ISCD Official Positions. *Journal of Clinical Densitometry*, 11(1), 163-87.
- Lampignano, J. & Bontrager, M. A. (2014). *Textbook of Radiographic Positioning and Related Anatomy*. St. Louis, Missouri: Elsevier.

- Leali, P., Doria, C., Zachos, A., Ruggiu, A., Milia, F. & Barca, F. (2009). Bone fragility: current reviews and clinical features. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism*, 6(2), 109-13.
- Lenchik, L., Kiebzak, G. M. & Blunt, B. A. (2002). What Is the Role of Serial Bone Mineral Density Measurements in Patient Management?. *Journal of Clinical Densitometry*, 5, S29-38.
- Linthorn, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69, 1198-1204.
- Macdonald, H., Kontulainen, S., Petit, M., Janssen, P. & McKay, H. (2009). Bone strength and its determinants in pre- and early pubertal boys and girls. *Bone*, 39 (3), 598-608.
- Magee, D. J., Zachazewski, J. E. & Quillen, W. S. (2007). *Scientific Foundations and Principles of Practice in Musculoskeletal Rehabilitation*. St. Louis, Missouri: Elsevier.
- Malina, R. M., Bouchard, C. & Bar-Or, O. (2004). *Growth, Maturation and Physical Activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Marfell-Jones, M., Olds, T., Stewart, A. & Carter, L. (2006). *International standards for anthropometric assessment*. Potchefstroom, South Africa: ISAK.
- Marín, F., González-Macías, J., Díez-Pérez, A., Palma, S. & Delgado-Rodríguez, M. (2006). Relationship Between Bone Quantitative Ultrasound and Fractures: A Meta-Analysis. *Journal of Bone and Mineral Research*, 21(7), 1126-35.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I. & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 551-5.

- Matheson, L. A., Duffy, S., Maroof, A., Gibbons, R., Duffy, C. & Roth, J. (2013). Intra- and inter-rater reliability of jumping mechanography muscle function assessments. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 13(4), 480-6.
- McDevitt, H. & Ahmed, S. F. (2007). Quantitative ultrasound assessment of bone health in the neonate. *Neonatology*, 91(1), 2-11.
- Miller, P. D., Erikson, A. & Zapalowski, C. (2001). Clinical application of bone mineral density measurements. Em Becker, K. L. (Ed.), *Principles and Practice of Endocrinology and Metabolism* (pp. 557-563). Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. C. & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34 (4), 689-94.
- Moraes, A. M., Gonçalves, E. M., Barbeta, V. J. & Guerra-Júnior, G. (2013). Cross-sectional study of the association of body composition and physical fitness with bone status in children and adolescents from 11 to 16 years old. *BMC Pediatrics*, 13 (117), 1-7.
- Morrow, J., Mood, D., Disch, J. & Kang, M. (2016). *Measurement and Evaluation in Human Performance*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Murray, D. P., Bera, S. G., Brown, L. E. & Findley, B. W. (2007). Strength Assessment. Em NSCA & Brown, L. E. (Eds.), *Strength Training* (pp. 97-112). Champaign, IL: Human Kinetics.
- National Cancer Institute (s.d.). Bone development & growth. Recuperado de <http://training.seer.cancer.gov/anatomy/skeletal/growth.html>.

- Ng, D. C. & Sundram, F. X. (1998). Bone Mineral Density—Correlation between Quantitative Ultrasound Characteristics and Dual Energy X-ray Absorptiometry. *Annals, Academy of Medicine, Singapore*, 27(4), 524-6.
- NIH (National Institute of Health) (2000). Osteoporosis prevention, diagnosis and therapy. NIH consensus statement. 17(1): 1-45.
- Nikander, R., Sievanen, H., Heinonen, A., Daly, R. M., Uusi-Rasi, K. & Kannus, P. (2010). Targeted exercise against osteoporosis: A systematic review and meta-analysis for optimizing bone strength throughout life. *BMC Medicine*, 8(47).
- Njeh, C. F., Shaw, N., Gardner-Medwin, J. M., Boivin, C. M. & Southwood, T. R. (2000). Use of Quantitative Ultrasound to Assess Bone Status in Children with Juvenile Idiopathic Arthritis: A Pilot Study. *Journal of Clinical Densitometry*, 3(3), 251-260.
- Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Gutiérrez, A., Moreno, L. A., Tresaco, B., Martínez, J. A., ... AVENA Study Group (2004). Is physical fitness a good predictor of cardiovascular disease risk factors in normal-weight and overweight or obese adolescents? The AVENA Study. [abstract]. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 28, S120.
- Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Castillo, M. J. & Sjostrom, M. (2008). Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *International Journal of Obesity*, 32(1), 1-11.
- Patikas, D. (2014). Stretch Shortening Cycle in Childhood. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 117, 60-66.
- Plowman, S. A. & Smith, D. L. (2013). *Exercise Physiology for Health Fitness and Performance*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.

- Polinder, S., Iordens, G. I., Panneman, M. J., Eygendaal, D., Patka, P., Den Hartog, D. & Van Lieshout, E. M. (2013). Trends in incidence and costs of injuries to the shoulder, arm and wrist in The Netherlands between 1986 and 2008. *BMC Public Health*, 13 (531), 1-8.
- Putter, C. E., Van Beeck, E. F., Looman, C. W., Toet, H., Hovius, S. E. & Selles, R. W. (2011). Trends in Wrist Fractures in Children and Adolescents, 1997–2009. *Journal of Hand Surgery*, 36(11), 1810-1815.
- Rauch, R., Veilleux, L. N., Rauch, F., Bock, D., Welisch, E., Filler, G., . . . Norozi, K. (2012). Muscle force and power in obese and overweight children. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 12(2), 80-3.
- Rietschel, E., van Koningsbruggen, S., Fricke, O., Semler, O. & Schoenau, E. (2008). Whole body vibration: a new therapeutic approach to improve muscle function in cystic fibrosis?. *International Journal of Rehabilitation Research*, 31(3), 253-6.
- Rittweger, J. (2008). Ten years muscle-bone hypothesis: What have we learned so far? - Almost a Festschrift. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 8(2), 174-8.
- Robling, A. G. (2009). Is bone's response to mechanical signals dominated by muscle forces?. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(11), 2044-9.
- Rubín, L. & Suchomel, A. (1985). Test batteries assessing physical fitness in school-aged children in the Czech Republic: A brief review. *Scientific Review of Physical Culture*, 3(4), 96-102.
- Ruiz, J. R., Ortega, F. B., Gutierrez, A., Meusel, D., Sjöström, M. & Castillo, M. J. (2006). Health-related fitness assessment in childhood and adolescence: a

- European approach based on the AVENA, EYHS and HELENA studies. *Journal of Public Health*, 14(5), 269-277.
- Ruiz, J. R., Castro-Piñero, J., España-Romero, V., Artero, E. G., Ortega, F. B., Cuenca, M. M., . . . Castillo, M. J. (2011). Field-based fitness assessment in young people: the ALPHA health-related fitness test battery for children and adolescents. *British Journal of Sports Medicine*, 45(6), 518-24.
- Runge, M. & Hunter, G. (2006). Determinants of musculoskeletal frailty and the risk of falls in old age. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 6(2), 167-73.
- Savino, F., Viola, S., Benetti, S., Ceratto, S., Tarasco, V., Lupica, M. M. & Cordero di Montezemolo, L. (2013). Quantitative ultrasound applied to metacarpal bone in infants. *PeerJ*, 27(1).
- Schoenau, E. (2005). From mechanostat theory to development of the "Functional Muscle-Bone-Unit". *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 5(3), 232-8.
- Schoenau, E., Neu, M. C. & Manz, F. (2004). Muscle mass during childhood – Relationship to skeletal development. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 4(1), 105-8.
- Schönauf, E. & Fricke, O. (2006). Muscle and Bone: a Functional Unit. *Dtsch Arztebl*, 103 (50), 3414-9.
- Schönauf, E. & Fricke, O. (2008). Mechanical influences on bone development in children. *European Journal of Endocrinology*, 159, S27-S31.
- Schönauf, E. & Fricke, O. (2011). Quantification of densitometric bone parameters and muscle function. Em Ranke, M. B. & Mullis, P. E. (Eds.), *Diagnostics of Endocrine Function in Children and Adolescents* (pp. 448-464). Basel: Karger.

- Seeley, R. R., Stephens, T. D. & Tate, P. (2003). *Anatomy & Physiology*. New York: McGraw-Hill.
- Seeman, E. & Delmas, P. D. (2006). Bone Quality — The Material and Structural Basis of Bone Strength and Fragility. *New England Journal of Medicine*, 354(21), 2250-61.
- Siglinsky, E., Krueger, D., Ward, R. E., Caserotti, P., Strotmeyer, E. S., Harris, T. B., . . . Buehring, B. (2015). Effect of age and sex on jumping mechanography and other measures of muscle mass and function. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 15(4), 301-8.
- Specker, B. L. & Schoenau, E. (2005). Quantitative bone analysis in children: current methods and recommendations. *Journal of Pediatrics*, 146(6), 726-31.
- Srichan, W., Thasanasuwan, W., Kijboonchoo, K., Rojroongwasinkul, N., Wimonpeerapattana, W., Khouw, I. & Deurenberg, P. (2015). Bone status measured by quantitative ultrasound: a comparison with DXA in Thai children. *European Journal of Clinical Nutrition*.
- Stewart, M. G. (2005). *Head, Face, and Neck Trauma: Comprehensive Management*. New York: Thieme.
- Tomkinson, G. R. & Olds, T. S. (2008). Field tests of fitness. Em Armstrong, N. & Mechelen, W. (Eds.), *Paediatric Exercise Science and Medicine* (pp. 29-49). New York: Oxford University Press.
- Torres-Costoso, A., Gracia-Marco, L., Sánchez-López, M., Notario-Pacheco, B., Arias-Palencia, N. & Martínez-Vizcaíno, V. (2015). Physical activity and bone health in schoolchildren: the mediating role of fitness and body fat. *Plos One*, 10(4).
- Turner, C. H. (2002). Determinants of skeletal fragility and bone quality. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 2 (6), 527-528.

- USDHHS (U.S. Department of Health and Human Services) (2004). *Bone Health and Osteoporosis: A Report of the Surgeon General*. Rockville, MD: U.S.
- Valerio, G., Gallè, F., Mancusi, C., Di Onofrio, V., Colapietro, M, Guida, P. & Liguori, G. (2010). Pattern of fractures across pediatric age groups: analysis of individual and lifestyle factors. *BMC Public Health*, 10 (656), 1-9.
- Veilleux, L. N. & Rauch, F. (2010). Reproducibility of jumping mechanography in healthy children and adults. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 10 (4), 256-66.
- Veilleux, L. N., Rauch, F., Lemay, M. & Ballaz, L. (2012). Agreement between vertical ground reaction force and ground reaction force vector in five common clinical tests. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 12 (4), 219-23.
- Vicente-Rodriguez, G., Jimenez-Ramirez, J., Ara, I., Serrano-Sanchez, J. A., Dorado, C. & Calbet, J. A. (2003). Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. *Bone*, 33(5), 853-9.
- Vicente-Rodriguez, G., Ara, I., Perez-Gomez, J., Serrano-Sanchez, J. A., Dorado, C. & Calbet, J. L. (2004). High femoral bone mineral density accretion in prepubertal soccer players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36 (10), 1789-1795.
- Vicente-Rodríguez, G., Urzanqui, A., Mesana, M. I., Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Ezquerro, J., . . . AVENA-Zaragoza Study Group. (2008). Physical fitness effect on bone mass is mediated by the independent association between lean mass and bone mass through adolescence: a cross-sectional study. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 26(3), 288-94.
- Viguet-Carrin, S., Garnero, P. & Delmas, P. D. (2006). The role of collagen in bone strength. *Osteoporosis International*, 17, 319-336.

- Weeks, B. K. & Beck, B. R. (2010). The Relationship between Physical Activity and Bone during Adolescence Differs according to Sex and Biological Maturity. *Journal of Osteoporosis*, 546593.
- WHO (World Health Organization) (1994). Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Technical Report Series 843. WHO, Geneva.
- WHO (World Health Organization) (1998). *Guidelines for preclinical evaluation and clinical trials in osteoporosis*.
- Wren, T. A. & Gilsanz, V. (2006). Assessing bone mass in children and adolescents. *Current Osteoporosis Reports*, 4(4), 153-8.
- Yeh, F. J., Grant, A. M., Williams, S. M. & Goulding, A. (2006). Children who experience their first fracture at a young age have high rates of fracture. *Osteoporosis International*, 17, 267-272.
- Zebaze, R. M., Brooks, E., High, M., Duty, E. & Bronson, W. (2003). Reproducibility of heel ultrasound measurement in prepubescent children: lack of influence of ethnicity, sex, or body size. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 22(12), 1337-40.
- Zribi, A., Zouch, M., Chaari, H., Bouajina, E., Zaouli, M, Nebigh, A. & Tabka, Z. (2014). Enhanced Bone Mass and Physical Fitness in Prepubescent Basketball Players. *Journal of Clinical Densitometry*, 17(1), 156-62.